Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 6, Feb.-Mar. 2022, p. 873-890

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۴۰۰، ص. ۸۹۰-۸۷۳

مقاله پژوهشی

کاربرد سطح فاز زمین‌ریخت در افزایش خلوص واحدهای نقشه خاک در رودیکرد ژئوپدولوژی

فاطمه ابراهیمی میمند[۱]- حسن رمضانپور[۲]*- نفیسه یغمائیان[۳]- کامران افتخاری[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۱۳

چکیده

تفکیک صحیح واحدهای زمین‌نما گام مهمی در مدیریت منابع اراضی و خاک در جهت نیل به توسعه پایدار و حفظ محیط زیست است. بنابراین در این پژوهش کارایی نقشه‌های ژئوپدولوژی در سطح فاز زمین‌ریخت با هدف افزایش خلوص واحدهای نقشه، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور پس از تفکیک و ترسیم واحدهای ژئومورفیک طبق ساختار پیشنهادی روش ژئوپدولوژی در سطح زمین‌ریخت، بزرگترین و گسترده‌ترین واحد نقشه با استفاده از ویژگی‌های مورفومتری و پوشش گیاهی به سطح فاز زمین‌ریخت تفکیک گردید. پس از حفر، تشریح و طبقه‌بندی ۳۱ خاکرخ مطالعاتی، پراکندگی خاک‌های واقع شده در هر واحد نقشه فاز زمین‌ریخت با استفاده از احتمالات شرطی و شاخص‌های تنوع از جمله شاخص شانن، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به نرمال بودن توزیع شاخص تفرق شانن محاسبه شده، از آزمون آماری t به‌منظور بررسی معنی‌دار بودن تفاوت موجود بین واحدهای نقشه تفکیک شده، استفاده شد. نتایج حاصل از مطالعه نشان دهنده کاهش شاخص‌های تفرق و افزایش احتمالات شرطی در واحدهای فاز زمین‌ریخت در مقایسه با واحد زمین‌ریخت انتخابی بود. نتایج همچنان نشان داد استفاده از ویژگی پوشش گیاهی نسبت به سایر ویژگی‌های محیطی در تفکیک واحدهای فاز زمین‌ریخت و ارائه واحدهای نقشه‌های همگن موثر بوده است. به‌طوری که حداکثر احتمال مشاهده خاک‌های غالب منطقه مطالعاتی از ۳۲/۲۵ درصد در واحد زمین‌ریخت به ۵۲/۶۳، ۷۵ و ۸۷/۵۰ درصد در واحدهای نقشه فاز زمین‌ریخت افزایش و شاخص تفرق شانن نیز از ۱/۵۹ در واحد زمین‌ریخت به ۱/۳۶، ۰/۵۶ و ۰/۳۷ در واحدهای نقشه فاز زمین‌ریخت کاهش پیدا کرده است. استفاده از سایر ویژگی‌های محیطی جهت افزایش خلوص واحدهای نقشه فاز زمین‌ریخت در مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: احتمالات شرطی، تفرق خاک، شاخص ناهمواری زمین، نقشه ژئوپدولوژی

مقدمه

اهمیت تفکیک واحدهای اراضی به واحدهای همگن با خصوصیات مشابه مدتهاست که در مطالعات مختلف به‌عنوان یک مسئله مهم شناخته شده است و از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با این‌حال، در هر مطالعه تمرکز عمومی معمولاً بر روی یک موضوع خاص بوده است و مرزها براساس هدف مورد نظر ترسیم شده‌اند (۱۵). در مطالعات تهیه نقشه خاک، هدف تفکیک واحدهای خاک به‌گونه‌ای است که بتوان خاک‌های همگن‌تر و مشابه‌تری در هر یک از آن‌ها، مشاهده نمود. بدین معنی که تفاوت میان این واحدها حداکثر و تغییرپذیری درونی آن‌ها حداقل باشد. که در نتیجه آن هر واحد نقشهٔ خاک شامل مجموعه‌ای از محدوده‌های ترسیمی باشد که به استثنای موقعیت، در بقیهٔ ویژگی‌ها با هم مشابه باشند. بسیاری از محققان برای دستیابی به این هدف از معیارهای ژئومورفولوژیکی که عمدتا بر اساس شکل اراضی است، استفاده نموده‌اند (۶ و ۱۶). در همین راستا رویکرد ژئوپدولوژی[۵]، یک روش سیستماتیک تجزیه و تحلیل سطوح ژئومورفیک است که با بررسی روابط خاک و ژئومورفولوژی و بر هم‌کنش آن‌ها اقدام به تهیه نقشه‌های پایه، جهت نقشه‌برداری خاک نموده است (۳۱). در این روش موقعیت خاک‌ها بر روی زمین‌نما و همچنین نقش توأم فرایندهای پدولوژیک و ریخت‌شناسی که در پیدایش، توزیع، نقشه‌برداری، رده‌بندی و مدیریت خاک‌ها موثرند، به‌عنوان مهم‌ترین فاکتورهای موثر در تفکیک

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان
۴- عضو هیأت علمی مؤسسه تحقیقات خاک و آب کرج
(*- نویسنده مسئول: Email: hasramezanpour@yahoo.com)
DOI: 10.22067/JSW.2021.72597.1094

5- Geopedologic approach

واحدهای خاک مورد توجه قرار می‌گیرند (۴۲).

در سال‌های اخیر پژوهش‌های متعددی در ارتباط با روش ژئوپدولوژی صورت گرفته است. در اولین مطالعات صورت گرفته به مقایسه نقشه‌های تهیه شده در روش ژئوپدولوژی و روش معمول نقشه‌برداری خاک (۱ و ۱۳) و همچنین قابلیت‌ها و کارایی این روش (۱۴، ۲۶ و ۲۷) پرداخته شده است. محققان متعددی نیز از جمله احمدی ثانی و بابایی (۲)، یودمسری (۳۹)، اسفندیارپور و همکاران (۱۰)، راشد و همکاران (۲۸) و زینک (۴۲) از تلفیق روش‌های مبتنی بر اصول ژئوپدولوژیک و تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در تهیه نقشه خاک به روش ژئوپدولوژیک استفاده کرده‌اند.

به‌طورکلی، هدف اصلی در تمامی این مطالعات، سازمان‌دهی و طبقه‌بندی خاک‌ها بر اساس شواهد ژئومورفولوژیکی آن‌ها در سطح زمین و استفاده از یک ساختار سلسله مراتبی می‌باشد، که متناسب با مقیاس و سطح دقت[1] مطالعه، خاک‌ها را در این سطوح مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد (۴۱). اما نکته قابل توجه اینست که در واحدهای نقشه‌ی خاک تهیه شده در مقیاس‌های مختلف مطالعات خاکشناسی، تغییرات مکانی خصوصیات ژئومورفیک و پدولوژیک به یک اندازه نیست. به‌عبارت روشن‌تر در واحدهای نقشه خاک مطالعات بزرگ مقیاس (تفصیلی)، خصوصیات پدولوژیک در مقایسه با خصوصیات ژئومورفیک در فواصل کوتاه‌تری تغییر کرده و دارای تنوع بیشتری است. بنابراین رویکرد ژئوپدولوژی که بیشتر مبتنی بر تغییرات ژئومورفیک است، آنچنان‌که در مطالعات کوچک مقیاس (اجمالی) قادر به بیان تغییرات انواع خاک‌ها است در مطالعات بزرگ مقیاس در بیان این تغییرپذیری با محدودیت روبرو است (۴۲).

این نکته در مطالعات زیادی که با هدف بررسیِ دقت و خلوص واحدهای نقشهٔ خاک و ارزیابی تعمیم‌پذیری نتایج داده‌های خاک منطقه نمونه به خارج از آن، در نقشه‌های تولید شده به روش ژئوپدولوژی انجام شده است مورد تائید قرار گرفته است (۳). اسفندیارپور و همکاران (۹) در تحقیقی به‌منظور ارزیابی نقشه برداری خاک به روش ژئوپدولوژی با استفاده از شاخص جاکارد و شباهت نسبی نشان دادند که روش ژئوپدولوژی می‌تواند به‌منظور تعمیم نتایج برای واحدهای ژئومورفیک مشابه، تنها تا سطح زیرگروه، مورد استفاده قرار گیرد و برای سطوح پایین‌تر رده‌بندی خاک (فامیل و سری) از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشد. رشیدی کوچی و همکاران (۲۹) در بررسی اثر مقیاس بر نتایج نقشه‌برداری خاک به‌روش ژئوپدولوژی اظهار کردند این روش قادر به برآورد و تعیین تغییرات کامل خاک‌ها و تعیین دقیق طبیعت بی‌نظم و درهم آن‌ها نمی‌باشد و کارایی این روش، محدود به مقیاس‌های نیمه تفصیلی و کوچک‌تر است.

نتایج مطالعه کشتکار و همکاران (۲۲) که با هدف بررسی تنوع خاک‌ها در زمین‌ریخت‌های مختلف انجام شده بود نیز نشان داد که تنوع خاک‌ها در مقیاس‌های کوچک و در سطوح رده‌بندی بالا بیشتر تحت تأثیر نیروهای پیش‌برنده بیرونی قوی است، در حالی‌که در سطوح پایین‌تر رده‌بندی، نیروهای ذاتی و درونی که نتیجه برهم‌کنش فاکتورهای تشکیل خاک می‌باشند، ظهور پیدا می‌کند.

نتایج حاصل از این مطالعات نشان می‌دهد، مناسب‌ترین مقیاس برای روش ژئوپدولوژی، نیمه تفصیلی تا اجمالی است. در تمامی این تحقیقات اعتقاد بر این است که به‌منظور بهره بردن از این روش در مطالعات خاکشناسی با مقیاس‌های بزرگ‌تر، نیاز به تغییر و ویرایش راهکار موجود که در آن از زمین‌ریخت[2] به‌عنوان آخرین سطح ساختار سلسله مراتبی زینک، استفاده شده است، می‌باشد (۴۱).

یکی از روش‌های پیشنهادی به‌منظور ویرایش راهکار مورد استفاده برای مقیاس‌های تفصیلی و بزرگ‌تر که با هدف طبقه‌بندی خاک‌ها و شناسائی تفاوت‌ها و ویژگی‌های مهم آن‌ها برای اهداف مدیریتی صورت می‌گیرد، تعریف فازهای زمین‌ریخت[3] است. بدین معنی که با دریافت اطلاعات بیشتر به همراه جزئیات دقیق‌تر در تعریف فازها، می‌توان سیمای اراضی را تحت واحدهای یکنواخت‌تر (همگن‌تر) تفکیک نمود، به‌طوری‌که رفتارها و ویژگی‌های مشابه این واحدها بتوانند در رابطه با مدیریت و استفاده از آن‌ها مفید و موثر واقع شود. در این صورت، هر فاز زمین‌ریخت در واقع، بیانگر یک واحد نقشه مجزا خواهد بود که تغییرپذیری منطقه مطالعاتی را جهت اعمال مدیریت‌های یکنواخت بهتر و دقیق‌تر نشان می‌دهد (۸ و ۴).

سیستم طبقه‌بندی ژئوفرم در حال حاضر شامل مفهوم فاز برای هر یک از تقسیمات فرعی یک زمین‌ریخت یا هر کلاس ژئوفرم در سایر سطوح دسته‌بندی می‌باشد (۴۲). مومنی و همکاران (۲۶) اظهار داشتند، همان‌گونه که در سامانه رده‌بندی جامع خاک‌ها سری‌های خاک دارای حداکثر یکنواختی بوده و تغییرات جزئی آن‌ها جهت اهداف خاص به‌صورت فاز نشان داده می‌شوند، در سیستم سلسله مراتبی روش ژئوپدولوژی نیز، زیر تقسیم‌های زمین‌ریخت به‌عنوان پایین‌ترین سطح سیستم (دارای بالاترین درجهٔ همگنی) در سطح فاز قابل تفکیک است. زینک (۴۲) عنوان کرد فازهای زمین‌ریخت را می‌توان با مشاهدات میدانی مانند درصد سنگ و سنگریزه سطحی، نوع و تراکم پوشش گیاهی و همچنین با استفاده از اطلاعات دریافت شده از مدل رقومی ارتفاع و مشتقات آن و یا شرایط هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه تعیین نمود. باقری بداغ‌آبادی و تومانیان (۴)

1- Level of detail

2- land form

3- land form phases

مواردی چون جهت یا شکل شیب، نوع و تراکم پوشش گیاهی و نوع کاربری سرزمین را که در سطوح بالاترِ واحدهای زمین ریخت‌شناختی مد نظر قرار نگرفته‌اند، جهت تفکیک فازهای زمین‌ریخت پیشنهاد داده‌اند.

چارتین و همکاران (۷)، در مطالعه‌ای در جنوب غربی پاریس از مشتقات مدل رقومی ارتفاع و ضخامت خاک جهت تفکیک زمین‌ریخت‌ها به واحدهای کوچک‌تر استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که با استفاده از علم مورفومتری می‌توان زمین‌ریخت‌ها را طبقه‌بندی و خاک‌های منطقه را بر اساس ضخامت از یکدیگر متمایز نمود.

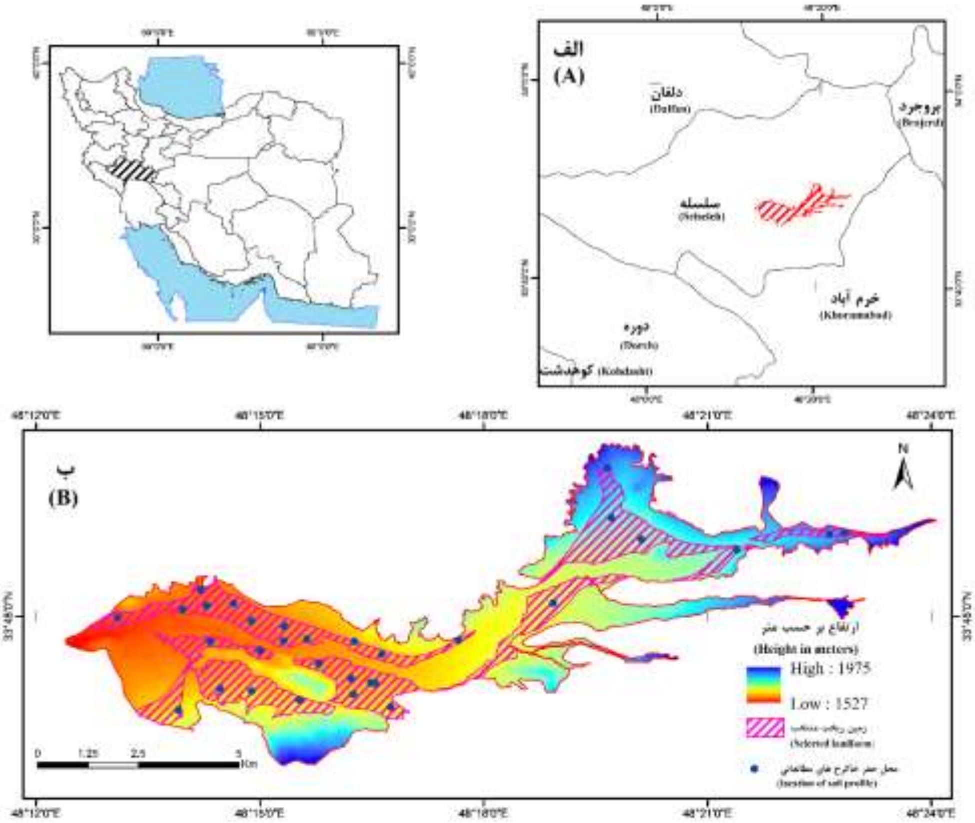
بنابراین، به‌منظور افزایش خلوص واحدهای نقشه در راستای شناخت دقیق و همه‌جانبه‌ی تغییرات سیمای اراضی در راستای اهداف مدیریتی و همچنین امکان استفاده از این نقشه‌ها جهت تفکیک واحدهای همگن مدیریت‌پذیر، این تحقیق برای دسترسی به اهداف زیر صورت گرفت:

تعیین کارآیی شاخص‌های مورفومتریک و پوشش گیاهی برای تفکیک فازهای زمین‌ریخت

بررسی میزان افزایش خلوص واحدهای نقشه با استفاده از سطح فاز زمین‌ریخت نسبت به سطح زمین‌ریخت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در بخشی از اراضی زیرحوضه هنام در استان لرستان، جنوب شهر الشتر، بین طول جغرافیایی "۰۰'۱۲°۴۸ تا "۰۰ '۲۴° ۴۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی"۰۰' ۴۷° ۳۳ تا "۰۰' ۴۹° ۳۳ شمالی، در مساحتی حدود ۴۰۰۰ هکتار واقع شده و دارای رژیم رطوبتی زریک و رژیم حرارتی مزیک است (۵). کاربری اصلی اراضی در این زیر حوضه کشت آبی (گندم، جو، کلزا، انواع لوبیا، علوفه و چغندرقند) و دیم (گندم، جو و نخود) گیاهان زراعی می‌باشد. مساحت کمی از اراضی نیز به باغات میوه (گردو و میوه‌های سردسیری) اختصاص داده شده است. مهم‌ترین منبع آب سطحی زیرحوضه، رودخانه هنام است. میانگین بارندگی سالانه منطقه ۵۵۴ میلی‌متر و میانگین سالیانه دمای هوا ۸/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۱۹).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، الف) موقعیت زیر حوضه در شهرستان سلسله، استان لرستان- ب) موقعیت زمین‌ریخت منتخب و خاکرخ‌های مطالعاتی

Figure 1- Location map of study area, A) The location of sub-basin in Lorestan province-B) The location of selected landform and soil profile

تهیه نقشه زمین‌ریخت‌های منطقه مطالعاتی

تفکیک و ترسیم واحدهای ژئومورفیک در این مطالعه طبق ساختار پیشنهادی روش ژئوپدولوژی (۴۱) صورت گرفت. به‌منظور تفکیک چهار سطح طبقاتی این رویکرد که شامل زمین‌نما[1]، پستی و بلندی[2]، سنگ شناسی[3] و زمین‌ریخت[4] می‌باشد، از لایه‌های اطلاعاتی نظیر عکس‌های هوایی (مقیاس:۱:۲۰۰۰۰)، نقشه‌های توپوگرافی (مقیاس: ۱:۲۵۰۰۰)، نقشه‌های زمین‌شناسی (مقیاس: ۱:۱۰۰۰۰۰)، مدل رقومی ارتفاع و تصاویر ماهواره سنتینل ۲، منطقه مطالعاتی استفاده شد.

همچنین از سامانه اطلاعات جغرافیایی و محیط نرم‌افزار گوگل ارث برای تهیه، بررسی و تدقیق نقشه‌ی نهایی تولید شده، استفاده گردید (۲۳). پس از نهایی شدن نقشه زمین‌ریخت‌ها و کدگذاری واحدها، بزگترین واحد این نقشه با مساحت ۱۲۲۳/۳۵ هکتار و کد واحد نقشه Pi641 که در زمین‌نمای دشت دامنه‌ای، پستی و بلندی دشت‌سر[5]، زمین‌شناسی آبرفت‌های قدیمی و تراس‌های فوقانی (Qt) و زمین‌ریخت دشت‌سر میانی واقع شده و بیشترین سطح از محدوده مطالعاتی را در برگرفته و گستردگی خوبی در منطقه داشت، جهت انجام مطالعات صحرایی، نمونه‌برداری خاک و همچنین انجام مراحل بعدی تحقیق انتخاب گردید.

مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری خاک

در این مرحله باتوجه به مقیاس مطالعه که نیمه تفصیلی دقیق است (هر ۱۰۰۰ هکتار ۲۰ خاکرخ) و همچنین مساحت زمین‌ریخت منتخب (۱۲۲۳/۳۵ هکتار)، ۳۱ محل جهت حفر خاکرخ انتخاب گردید، به‌طوری‌که سعی گردید توزیع نقاط مطالعاتی به‌گونه‌ای باشد که قسمت‌های مختلف منطقه مطالعاتی را پوشش دهند. در بعضی مناطق به لحاظ پیچیدگی پدیده‌های موجود، فواصل نقاط مطالعاتی کمتر در نظر گرفته شد و بالعکس برای مناطق همگن‌تر فواصل بیشتری منظور گردید. سپس نسبت به حفر و نمونه‌برداری از خاکرخ‌ها اقدام و تمامی خاکرخ‌ها بر اساس راهنمای تشریح و نمونه‌برداری خاک‌ها درصحرا (۳۳) تشریح شدند و مطابق با کلید رده بندی امریکایی خاک طبقه‌بندی گردیدند (۳۷).

1- Landscape
2- Relief/Molding
3- Lithology/Origin
4- Landform
5- Glacis

تفکیک فازهای زمین‌ریخت در واحد زمین‌ریخت منتخب

از آن‌جایی‌که هدف این پژوهش تفکیک فازهای زمین‌ریخت به‌عنوان پایین‌ترین سطح رویکرد ژئوپدولوژی و بررسی افزایش خلوص این واحدها نسبت به سطح زمین‌ریخت در منطقه مورد مطالعه بود، در این مرحله زمین‌ریخت منتخب به فازهای زمین‌ریخت تفکیک گردید. در این تحقیق از ژئومورفومتری که هدف اصلی آن بررسی، کمی‌سازی و استخراج ویژگی‌های شکل زمین و عوارض موجود در آن با استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاع و نرم‌افزارهای پارامترسازی است، به‌منظور تفکیک فازهای زمین‌ریخت بهره برده شد (۴۱). برای این منظور از داده‌های ارتفاعی حاصل از سنجنده SRTM[6] با قدرت تفکیک ۳۰ متر استفاده شد (۱۸). پس از انجام پیش پردازش‌های لازم بر روی مدل رقومی ارتفاع، به‌منظور جلوگیری از خطاهای پردازش در مرز منطقه مطالعاتی نیز یک حریم[7] صد متری برای مرز منطقه مطالعاتی در نظر گرفته شد. سپس از نرم‌افزار SAGA GIS به‌منظور استخراج شاخص‌های مورفومتری، سامانه گوگل ارث انجین برای تهیه شاخص پوشش گیاهی و نرم‌افزار GIS برای تهیه نقشه‌های نهایی استفاده شد.

استخراج شاخص‌های مورفومتری

پس از مرور تحقیقات انجام شده در منطقه مطالعاتی (۳۴) که ویژگی‌های شیب و ارتفاع را از عوامل مهم اثرگذار بر تغییرات خصوصیات خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه عنوان کرده بودند و همچنین بررسی‌های اولیه صورت گرفته بر روی انواع شاخص‌های مورفومتری استخراج شده، از نقشه جهت شیب و شاخص ناهمواری‌های زمین[8] به‌عنوان شاخص‌هایی که بهتر از سایر شاخص‌ها تغییرات مورفومتری منطقه مورد مطالعه نشان می‌دادند، استفاده شد. شاخص ناهمواری‌های زمین در واقع به نوعی اختلاف ارتفاع یک پیکسل با هشت پیکسل اطراف خود می‌باشد. برای این کار ارتفاع هر پیکسل از پیکسل‌های اطراف خود کم شده و برای مثبت کردن این اعداد آن‌ها را به توان ۲ رسانده، از آن‌ها میانگین گرفته و دوباره ریشه دوم آن حساب می‌شود و به پیکسل موردنظر نسبت داده می‌شود (۳۰). این کار از طریق رابطه زیر صورت می‌گیرد که در آن P تعداد پیکسل اطراف و ZMd میانگین تفاضل ۸ پیکسل اطراف هر پیکسل می‌باشد.

$$TRI = \sqrt{\sum_{p=1}^{8} ZMd.} \qquad (۱)$$

در این پژوهش نقشه جهت شیب و شاخص ناهمواری زمین در

6- Shuttle Radar Topography Mission
7- Buffer
8- Terrain Ruggedness Index (TRI)

نرم‌افزار SAGA GIS و بر پایه مدل ارتفاع رقومی برای واحد زمین‌نمای منتخب تهیه شد. سپس شاخص ناهمواری زمین در ۳ کلاس (۳۰) اراضی با ناهمواری کم، متوسط و زیاد و نقشه جهت شیب با در نظر گرفتن جهت‌های غالب شیب منطقه مطالعاتی در سه کلاس شمالی، جنوبی و جنوب شرقی طبقه‌بندی گردید.

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی[1]

این شاخص که از طریق نسبت‌گیری باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک به‌دست می‌آید و به‌طور گسترده برای پایش تغییرات پوشش گیاهی به‌کار می‌رود، از طریق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (۲)$$

در این فرمول، NIR، باند مادون قرمز نزدیک و RED باند قرمز تصاویر است. در این مطالعه در راستای در نظر گرفتن تنوع کشت و شرایط تفاوت متفاوت سبزینگی شاخص حداکثر تراکم پوشش گیاهی، با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ مربوط به ماه‌های خرداد تا شهریور ماه سال ۱۳۹۸ مطابق با انجام مطالعات صحرایی توسط سامانه گوگل ارث انجین استخراج گردید. بدین ترتیب بیشترین میزان تراکم پوشش گیاهی در طول دوره مطالعاتی استخراج و با عنوان $NDVI_{max}$ برای زمین‌ریخت منتخب در نظر گرفته شد. در انتها تفکیک واحد زمین‌ریخت منتخب به فازهای زمین‌ریخت با استفاده از هر کدام از نقشه‌های تولید شده در مرحله قبل به تنهایی و همچنین تلفیق هر سه نقشه صورت پذیرفت. با جانمایی خاکرخ‌های حفر شده بر روی نقشه‌های فاز زمین‌ریخت تهیه شده و بررسی شاخص‌های تنوع و همچنین بررسی احتمالات شرطی، همگنی واحدهای تفکیک شده از لحاظ طبقه‌بندی خاک‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

بررسی همگنی خاک‌ها در فازهای زمین‌ریخت تفکیک شده

اهمیت غیریکنواختی سیمای اراضی و شناسایی تنوع خاک، در مطالعات مختلف مد نظر قرار گرفته است. تجزیه و تحلیل احتمالات شرطی و شاخص‌های تنوع خاک به‌عنوان معیاری از تغییرپذیری خاک و یا تابعی از فاکتورهای خاکسازی جهت بررسی کمی این موضوع در این مطالعات استفاده شده‌اند (۲۴).

در این مطالعه جهت بررسی این موضوع که آیا به‌کارگیری رویکرد ژئومورفولوژی و تفکیک فازهای زمین‌ریخت به خوبی توانسته است در فرآیند شناسائی خاک‌ها، واحدهای همگن‌تری را تفکیک کند، هر دو معیار احتمالات شرطی و شاخص‌های تنوع مورد محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

1- Normalized difference vegetation index (NDVI)

بررسی احتمالات شرطی

با توجه به این فرض که عوامل تشکیل دهنده خاک و نیز فرآیندهای خاک‌سازی در سطوح فاز زمین‌ریخت یکسان‌تر از سطح زمین‌ریخت عمل می‌کنند، در نتیجه انتظار همگنی بیشتری در این واحدها وجود دارد. به‌عبارتی با استفاده از نظریه آمار و احتمال می‌توان چنین بیان کرد که احتمال شرطی مشاهده یک خاک می‌تواند وابسته به واحد ژئوپدولوژی باشد. به‌عبارت دیگر در پائین‌ترین سطح تفکیک در رویکرد ژئوپدولوژی انتظار وجود خاک‌های یکسان‌تر می‌رود. پس به زبان ریاضی می‌توان نوشت:

$$P(Soil\ A|Geo\ A') = \alpha \qquad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (۳)$$

یعنی احتمال وجود خاک A به شرط مشاهده واحد ژئوپدولوژی A برابر مقدار a است. بنابراین، وقتی انتظار می‌رود در آخرین سطح تفکیک شده، بیشترین همگنی وجود داشته باشد به این معنی است که اگر در این واحد عمدتاً یک نوع خاک مشاهده شود مقدار احتمال شرطی برای آن خاک به یک نزدیک می‌شود (۴). نتیجه منطقی این خواهد بود که اگر احتمال شرطی خاک A به شرط واحد ژئوپدولوژی À برابر یک باشد یعنی بکارگیری رویکرد ژئوپدولوژی و یا به عبارتی تفکیک واحدها در سطح فاز زمین‌ریخت در فرآیند شناسایی خاک به خوبی توانسته است واحدهای متفاوت خاک را تفکیک کند.

بررسی شاخص‌های تنوع

شاخص‌های تنوع شامل شاخص شانن[2]، همواری[3] و غنی‌شدگی[4] می‌باشند. این شاخص‌ها مبتنی بر فراوانی نسبی پدیده‌های مورد مطالعه می‌باشند (۱۷). شاخص تفرق شانن به‌عنوان معیاری از غیریکنواختی[5] ساختار یک جامعه یکی از پر کاربردترین این شاخص‌ها در مطالعات اکولوژی می‌باشد. شاخص همواری، یکی دیگر از شاخص‌های تنوع است که بیانگر فراوانی نسبی هر کدام از پدیده‌های موجود می‌باشد و در مطالعات مختلف استفاده می‌شود. کلیه شاخص‌ها و توابع مورد استفاده در این تحقیق در جدول ۱ ارئه گردیده است. وجود شاخص‌های غنی‌شدگی و همواری بزرگتر، دلیلی بر وجود تفرق بیشتر است (۲۰).

2- Shannon
3- Evenness
4- Richness
5- Heterogeneity

جدول ۱- انواع شاخص‌های تنوع استفاده شده در این مطالعه
Table 1- Types of diversity indices used in this study

شاخص‌ها Indices	منبع Reference	فرمول Formula
شاخص تفرق شانن Shannon index	Ibanez et al, 1995	$H' = -\sum p_i . \ln p_i$
شاخص همواری Evenness index		$E = H' / H_{max} = H' / \ln S$
شاخص غنا Richness index		$H' = H_{max} = \ln S$

H´= انتروپی، pi = نسبتni/N ، ni= تعداد و فراوانی اجزاء متعلق به واحد iام، N= تعداد کل اجزاء موجود در مطالعه،
S = تعداد گونه‌ها یعنی تعداد اجزاء داخل هر طبقه یا واحد نقشه

H´= entropy, Pi= Ratio of ni/N, ni= Number and frequency of components belonging to unit i, N= The total number of components in the study, S= Number of species means the number of components within each class or map unit

جدول ۲- روابط استفاده شده جهت مقایسه‌های آماری بین شاخص‌های تفرق شانن
Table 2- Statistical Relationships used for comparisons between Shannon diversity indices

	منبع Reference	فرمول Formula
واریانس شاخص تفرق (Shannon index variance)	Taylor,1978	$Var\ H_i' = \left\{\left[\sum_{i=1}^{n} p_i(\ln p_i)^2 - (\sum_{i=1}^{n} p_i \ln p_i)^2\right]/N\right\} + \{(S-1)/2N^2\}$
درجه آزادی (Degrees of freedom)		$d.f = (Var\ H_1' + Var\ H_2')^2 / \left\{\left[\frac{(Var\ H_1')^2}{N_1}\right] + \left[\frac{(Var\ H_2')^2}{N_2}\right]\right\}$
آماره‌ی t (t Statistic)		$t = (H_1' - H_2')/(Var\ H_1' + Var\ H_2')^{1/2}$

H_i'= شاخص تفرق محاسبه‌شده، $Var\ H_i'$ = واریانس تفرق محاسبه‌شده برای واحد iاُم، d.f= درجه آزادی، t= آماره t

H_i'= Calculated diversity index, $Var\ H_i'$=Variance of Calculated diversity index for unit i, d.f= Degrees of freedom, t=t Statistic

مقایسه آماری بین شاخص‌های تفرق شانن

با توجه به این‌که بر اساس مقادیر مطلق شاخص‌های تنوع نمی‌توان راجع به معنی‌دار بودن یا نبودن تفاوت‌های موجود بین واحدهای تفکیک شده قضاوت کرد؛ بنابراین مقایسه‌های آماری بین شاخص‌های تفرق شانن محاسبه شده برای هر واحد نقشه صورت گرفت. با توجه به این موضوع که اگر شاخص تفرق شانن برای جوامع مختلف محاسبه شود، شاخص‌های محاسبه‌شده از توزیع نرمال تبعیت خواهند نمود (۳۸) از روابط ارائه شده در جدول ۲ استفاده شد.

درصورتی‌که مقداری محاسبه شده، بزرگتر از t‌ی جدول باشد؛ فرض صفر مبنی بر یکسان بودن میانگین تفرق در واحدهای مختلف نقشه رد می‌شود. بدین معنی که دو واحد نقشه مورد مقایسه از نظر تفرق خاک‌های موجود دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشند. برای این منظور واحدهای فاز زمین‌ریخت تفکیک شده با توجه به هر ویژگی به‌صورت دو به دو با هم مورد مقایسه قرار گرفته و معنی‌دار بودن اختلاف شاخص تفرق شانن برای آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از تهیه نقشه ژئوپدولوژی منطقه مطالعاتی نشان داد این منطقه شامل دو زمین‌نمای دشت دامنه‌ای و دره می‌باشد و زمین‌نمای دشت دامنه‌ای بخش اعظم منطقه را در بر گرفته است (به دلیل محدودیت حجم مقاله، این نقشه و راهنمای مربوط به آن ارائه نشده است). در این زمین‌نما شش سطح پستی و بلندی و در زمین‌نمای دره سه سطح پستی و بلندی تفکیک گردید. از لحاظ منشا زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در پنج واحد سنگ‌شناسی قرار دارد و نهایتا ۲۲ کلاس زمین‌ریخت در این منطقه شناسایی گردید.

لازم به ذکر است با توجه به سلسله مراتبی بودن این روش، تقسیم‌بندی واحدها از زمین‌نما به زمین‌ریخت انجام می‌گیرد و نمادگذاری نیز به نحوی انجام می‌شود که یک واحد ژئوفرم در هر سطحی که تفکیک شده باشد دارای یک کد منحصر به‌فرد گردد.

برای مثال نماد Pi برای نشان دادن زمین‌نمای دشت دامنه‌ای می‌باشد که در سطح اول، زمین‌نما را مشخص می‌کند. در سطح پستی و بلندی از نماد عددی مانند Pi1 استفاده می‌شود که در اینجا Pi

نشان دهنده زمین‌نما و عدد 1 نشان دهنده پستی و بلندی می‌باشد. اگر در این سطح، دو واحد شناسایی گردد به این معنی که در یک زمین‌نما دو نوع پستی و بلندی تشخیص داده شود، واحدهای تفکیک شده را به‌صورت Pi1 و Pi2 روی نقشه نشان می‌دهیم. برای سطوح بعدی نیز به‌همین صورت نمادگذاری انجام می‌شود. برای نمونه، در کد Pi461 مربوط به زمین‌ریخت منتخب، نماد Pi نشان دهنده زمین‌نمای دشت دامنه‌ای، 4 نشان دهندهٔ پستی و بلندی دشت‌سر، 6 نشان دهندهٔ سنگ شناسی (رسوبات کواترنری دانه درشت و ریز) و 1 نشان دهندهٔ زمین‌ریخت دشت‌سر میانی می‌باشد.

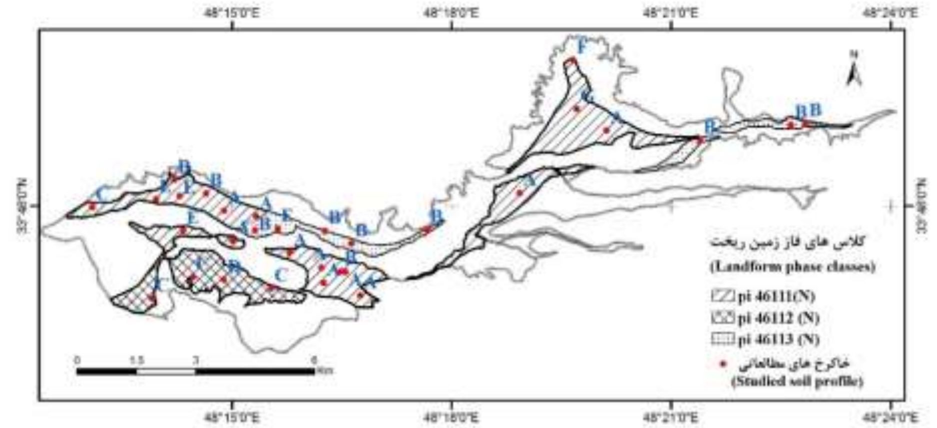
جدول ۳ خاک‌های واقع شده در واحد ژئوفرم Pi461 با مساحت ۱۲۲۳/۳۵ هکتار به‌عنوان بزرگترین و گسترده‌ترین زمین‌ریخت منطقه مطالعاتی و تعداد هر کدام از آن‌ها را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود خاک‌های واقع شده در این زمین‌ریخت در رده اینسپتی سول و زیر رده‌های هاپلو زرپتز و کلسی زرپتز رده‌بندی شده‌اند.

شکل ۲، نقشه‌های فاز زمین‌ریخت تفکیک شده با استفاده از شاخص‌های جهت شیب، شاخص ناهمواری‌های زمین و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی و محل حفر خاکرخ‌های مطالعاتی به همراه کد طبقه‌بندی هر خاکرخ را نشان می‌دهد. در این مطالعه برای نشان دادن سطح فاز در کدگذاری از نماد عددی و برای نشان دادن ویژگی تفکیک کننده فاز از حرف N برای ویژگی پوشش گیاهی، از حرف A برای جهت شیب و از حرف T برای شاخص ناهمواری استفاده شد. لازم به ذکر است زمانی که هر سه ویژگی در تفکیک فاز مورد توجه قرار گرفته‌اند، فقط از اعداد ۱ تا ۱۱ برای کدگذاری فازهای اول تا یازدهم استفاده شده است (شکل ۲).

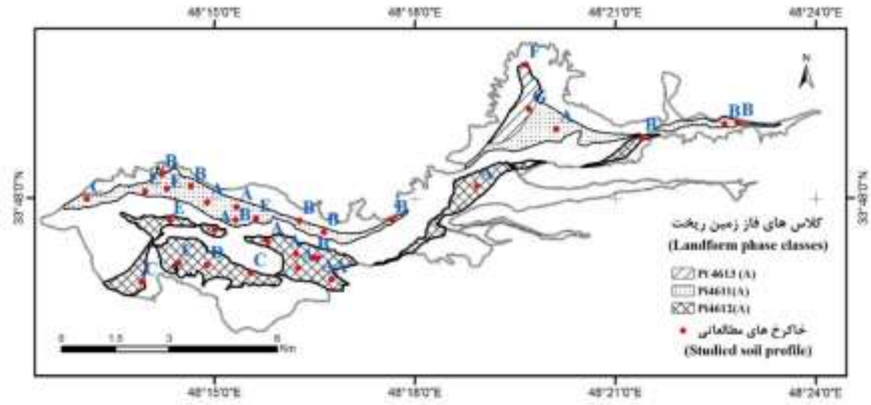
جدول ۳- خاک‌های واقع شده در واحد زمین‌ریخت منتخب به همراه تعداد مشاهده هر کدام

Table 3- Located Soils in the selected landform unit with observations number

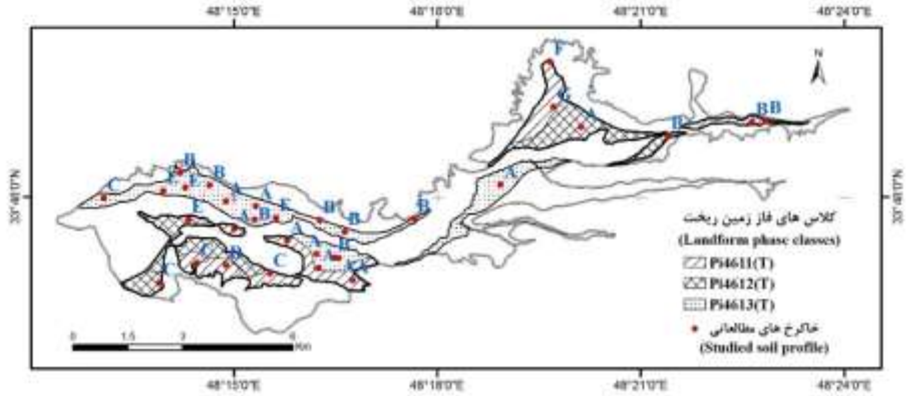
رده‌بندی خاک‌ها در سطح فامیل خاک Soil family	کد خاک Soil code	تعداد مشاهده Number of observation
Fine, mixed, mesic, Vertic Haploxerepts	A	10
Fine, mixed, mesic, Typic Haploxerepts	B	10
Fine, mixed, mesic, Typic Calcixerepts	C	4
Fine loamy, mixed, mesic, Typic Calcixerepts	D	1
Fine, mixed, mesic, Vertic Calcixerepts	E	4
Fine, carbonatic, mesic, Typic Calcixerepts	F	1
Fine loamy, carbonatic, mesic, Typic Calcixerepts	G	1



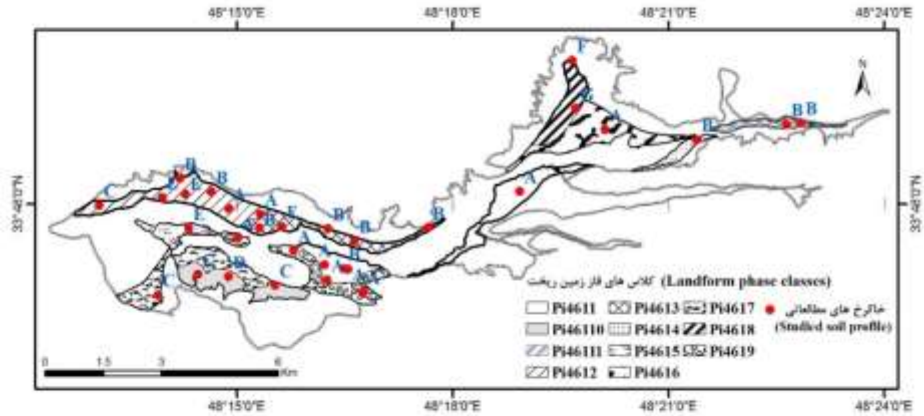
(الف)
(A)



(ب)
(B)



(ج)
(C)



(د)
(D)

شکل ۲- نقشه تفکیک زمین‌ریخت منتخب به فاز زمین‌ریخت با استفاده از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (الف)، جهت شیب (ب)، شاخص ناهمواری (ج)، تلفیق هر سه شاخص (د)

(راهنمای نقشه کلاس‌های فاز زمین‌ریخت در جدول ۴ ارائه شده است)

Figure 2- Separation of selected landform unit to phase of landform units using Normalized difference vegetation index (A), Aspect (B), Terrain Ruggedness Index (C), incorporation of these 3 indexes (D)

(Legend of landform phase maps is given in Table 4)

در جدول ۴ راهنمـای نقشـه‌هـای فـاز زمـین‌ریخـت، بـه همـراه مشخصات جداکننده فازها ارائه شده است. همانطور کـه ایـن جـدول نشان می‌دهد، زمانی که زمین‌ریخت منتخب بـر اسـاس فقـط یـک ویژگی به فازهای زمین‌ریخت تفکیک می‌شود، سه فاز قابل جداسازی است. اما زمانی که هر سه ویژگی برای تفکیک فاز مورد استفاده قـرار می‌گیرند ۱۱ فاز زمین‌ریخت (Pi4611 برای اولین فـاز تـا Pi46111 برای فاز یازدهم) قابل جداسازی می‌باشد.

جدول ۴- راهنمای نقشه‌های فاز زمین‌ریخت

Table 4- Legend of landform phase maps

واحد زمین‌ریخت Landform unit	مشخصات Characteristics	ویژگی جداکننده فاز Phase separator feature	واحد فاز زمین‌ریخت Landform phase unit	مشخصات Characteristics
Pi461	زمین‌نما: دشت دامنه‌ای پستی و بلندی: دشت‌سر سنگ‌شناسی: رسوبات کواترنری دانه درشت و ریز زمین‌ریخت: دشت‌سر میانی (Landscape: Piedmont plain, Relief / molding: Glacis, Lithology: coarse and fine grain quaternary deposits, Landform: Middle glacis)	شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) (الف)	Pi4611(N)	پوشش گیاهی: متوسط (Vegetation: Medium)
			Pi4612 (N)	پوشش گیاهی: کم (Vegetation: Low)
			Pi4613 (N)	پوشش گیاهی: زیاد (Vegetation:High)
		جهت شیب (Aspect) (ب)	Pi4611(A)	جهت شیب: جنوبی (Aspect: to the South)
			Pi4612 (A)	جهت شیب: شمالی (Aspect: to the North)
			Pi4613 (A)	جهت شیب: جنوب شرقی (Aspect: to the Southeast)
		شاخص ناهمواری‌های زمین (TRI) (ج)	Pi4611(T)	ناهمواری: زیاد (TRI:High)
			Pi4612 (T)	ناهمواری: متوسط (TRI:Medium)
			Pi4613 (T)	ناهمواری: کم (TRI:Low)
		شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، جهت شیب، شاخص ناهمواری (NDVI, Aspect and TRI) (د)	Pi4611	پوشش گیاهی: متوسط- ناهمواری: کم- جهت شیب: شمالی (Medium vegetation, Low TRI, to the North Aspect)
			Pi4612	پوشش گیاهی: متوسط- ناهمواری: کم- جهت شیب: جنوبی (Medium vegetation, Low TRI, to the South Aspect)
			Pi4613	پوشش گیاهی: زیاد- ناهمواری: کم- جهت شیب: جنوبی (High vegetation, Low TRI, to the South Aspect)

پوشش گیاهی: زیاد- ناهمواری: متوسط- جهت شیب: شمالی (High vegetation, Medium TRI, to the North Aspect)	Pi4614
پوشش گیاهی: متوسط- ناهمواری: متوسط- جهت شیب: شمالی (Medium vegetation, Medium TRI, to the North Aspect)	Pi4615
پوشش گیاهی: متوسط- ناهمواری: متوسط- جهت شیب: جنوبی (Medium vegetation, Medium TRI, to the South Aspect)	Pi4616
پوشش گیاهی:کم- ناهمواری: متوسط- جهت شیب: شمالی (Low vegetation, Medium TRI, to the North Aspect)	Pi4617
پوشش گیاهی: متوسط- ناهمواری: زیاد- جهت شیب:جنوب شرقی (Medium vegetation, High TRI, to the Southeast Aspect)	Pi4618
پوشش گیاهی: متوسط- ناهمواری: زیاد- جهت شیب: شمالی (Medium vegetation, High TRI, to the North Aspect)	Pi4619
پوشش گیاهی: کم- ناهمواری: زیاد- جهت شیب: شمالی (Low vegetation, High TRI, to the North Aspect)	Pi46110
پوشش گیاهی: زیاد- ناهمواری: زیاد- جهت شیب: جنوبی (High vegetation, High TRI, to the South Aspect)	Pi46111

جداول ۵ و ۶ مقادیر احتمال شرطی خاک‌ها و همچنین شاخص‌های تنوع محاسبه شده را برای واحد زمین‌ریخت منتخب و واحدهای فاز زمین‌ریخت نشان می‌دهد. از نظر تئوری، شاخص تفرق شانن میزان آنتروپی را اندازه‌گیری می‌کند و بیشترین مقدار آن زمانی حاصل می‌شود که فراوانی انواع کلاس‌ها در مجموعه داده به یک اندازه باشد. بر عکس این موضوع زمانی اتفاق می‌افتد که کل فراوانی یک کلاس در یک مجموعه داده متمرکز شود، در این‌صورت آنتروپی شانن به صفر نزدیک خواهد شد. در این مطالعه تعداد خاک‌های واقع شده در هر واحد نقشه در سطح رده‌بندی فامیل، برای محاسبه و ارزیابی شاخص‌های تنوع خاک‌ها استفاده شد.

جدول ۵- مقادیر احتمال شرطی و شاخص‌های تنوع در زمین‌ریخت منتخب
Table 5- Conditional probability values and pedodiversity indices in the selected landform

زمین‌ریخت Landform	کد خاک Soil code	تعداد مشاهده Number of observation	P(X) Conditional statistics	شاخص شانن Shannon index	شاخص غنا Richness index	شاخص همواری Evenness index	مساحت Area (ha)
Pi4611	A	10	32.25	1.59	1.94	0.81	1223.35
	B	10	32.25				
	C	4	12.90				
	D	1	3.22				
	E	4	12.90				
	F	1	3.22				
	G	1	3.22				

همانطور که در جدول ۵ مشخص است زمانی که واحد زمین‌ریخت به فازهای زمین‌ریخت تفکیک نشده است و به‌عبارتی یک مجموعه داده با ۳۱ خاکرخ، حاوی ۷ نوع کلاس خاک متفاوت است، مقدار غیر یکنواختی در این واحد نقشه (Pi461) به‌عنوان یک مجموعه داده حاوی کلاس‌های خاک با توجه به شاخص تفرق شانن محاسبه شده، ۱/۵۹ می‌باشد. این شاخص برای واحدهای نقشه فاز زمین‌ریخت از صفر برای واحدهای نقشه Pi4619 و Pi46111 که به‌ترتیب دربرگیرنده ۳ و ۲ خاکرخ و فقط یک کلاس خاک هستند تا حداکثر ۱/۶۵ برای واحد نقشه Pi4611(T) که دربرگیرنده ۱۰ خاکرخ و ۶ کلاس خاک است، متغیر است (جدول ۶).

در یک طبقه‌بندی کلی واحدهای نقشه خاک را در دو دسته یکنواخت (همگن)[1] و ترکیبی[2] قرار می‌دهند. در واحدهای نقشه یکنواخت تمام موقعیت‌های موجود در هر محدوده دارای خصوصیات یکسان می‌باشند و تحت یک نام یکسان در سطح طبقه‌بندی مورد نظر قرار می‌گیرند. در واحدهای نقشه ترکیبی، در هر محدوده سطوح معنی‌داری از چند کلاس خاک مختلف موجود می‌باشد. بنابراین، موقعیت‌های مختلف موجود در واحد نقشه ممکن است در سطح طبقه‌بندی مورد نظر، تحت عنوان خاک‌های متفاوت، طبقه‌بندی شوند (۳۶). با توجه به این تعاریف و همچنین نوع و تعداد خاک‌های قرار گرفته در واحد زمین‌ریخت Pi461، این واحد نقشه یک واحد ترکیبی متشکل از چندین خاک است، که در آن بیشترین احتمال مشاهده خاک‌ها مربوط به خاک A و B با ۳۲/۵ درصد احتمال می‌باشد. شاخص‌های تنوع محاسبه شده برای این واحد نیز ترکیبی بودن این واحد نقشه را به خوبی نشان می‌دهند. البته باید به این موضوع توجه کرد که این واحد زمین‌ریخت در سطوح بالای رده‌بندی دارای خاک‌های یکنواختی می‌باشد. این بدان معنی است که سطح زمین‌ریخت در رویکرد ژئوپدولوژی برای تفکیک خاک‌ها در سطوح بالاتررده‌بندی از کارایی لازم برخوردار بوده و این موضوع توسط محققین مختلف مورد تائید قرار گرفته است (۲۲، ۱، ۱۱ و ۲۱).

همان‌طور که در جدول ۶ ارائه شده است با تفکیک واحد زمین‌ریخت به فازهای زمین‌ریخت واحد نقشه Pi461 حاوی ۳۱ خاکرخ به واحدهای کوچک‌تر تفکیک شده و کاهش تنوع خاک‌ها مورد انتظار می‌باشد. به‌عنوان مثال زمانی که زمین‌ریخت مورد نظر با توجه به ویژگی پوشش گیاهی جداسازی می‌شود سه فاز Pi4611(N)، Pi4612(N) و Pi4613(N) به ترتیب دارای تمامی ویژگی‌های زمین‌ریخت منتخب با تمایز در پوشش گیاهی متوسط، کم و زیاد تفکیک می‌شود. با توجه به نتایج جدول ۶، واحد نقشه Pi4612(N) با احتمال ۷۵ درصد مشاهده خاک C و واحد نقشه Pi4613(N) با احتمال ۸۷/۵۰ درصد مشاهده خاک B، دو واحد نقشه همگن می‌باشند. شاخص تفرق شانن این دو واحد نیز به‌ترتیب ۰/۵۶ و ۰/۳۷ می‌باشد که نشان دهنده یکنواختی این واحدها می‌باشد. یکنواخت شدن واحدهای نقشه همچنین زمانی که هر سه ویژگی برای تفکیک فازها مورد استفاده قرار گرفته است نیز مشاهده می‌شود. به‌طوری‌که در دو واحد Pi4619 و Pi46111 خاک‌های کاملا مشابه با صد در صد احتمال مشاهده و شاخص تفرق صفر قرار گرفته است. سایر واحدهای تفکیک شده به جز واحد Pi4612 نیز تقریبا همگن می‌باشند. البته باید به این موضوع نیز اشاره کرد که در چهار واحد مشخص شده در جدول فقط یک خاک قرار گرفته است و محاسبه شاخص تفرق و احتمال شرطی برای این واحدها معنایی ندارد. به‌طور کلی نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد خاک‌ها در واحدهای فاز زمین‌ریخت نسبت به واحد زمین‌ریخت از نظر طبقه‌بندی در سطح فامیل یکنواخت‌تر شده‌اند. به‌عبارت دیگر عوامل تشکیل دهنده خاک و نیز فرآیندهای خاکزایی در سطح فاز زمین‌ریخت نسبت به سطح زمین‌ریخت یکسان‌تر عمل کرده و همگنی بیشتری در این واحدها دیده می‌شود. کاهش شاخص‌های تنوع و افزایش احتمالات شرطی این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. این نتایج با نتایج حاصل از پژوهش باقری بداغ آبادی و تومانیان (۴) تطابق دارد.

1- Homogenous map units
2- Compound map units

جدول ۶- مقادیر احتمال شرطی و شاخص‌های تنوع در فازهای زمین‌ریخت تفکیک شده

Table 6- Conditional probability values and pedodiversity indices in the landform phases

ویژگی جداکننده فاز Phase separator feature	فاز زمین‌ریخت Landform phase unit	کد خاک Soil code	تعداد مشاهده Number of observation	P(X)	شاخص شانن Shannon index	شاخص غنا Richness index	شاخص همواری Evenness index	مساحت Area (ha)
جهت شیب (Aspect)	Pi4611(A)	A	3	20	1.18	1.38	0.85	490.76
		B	8	53.33				
		C	1	6.66				
		E	3	20				
	Pi4612 (A)	A	7	35.7	1.33	1.60	0.82	640.57
		B	2	14.28				
		C	3	21.42				
		D	1	7.14				
		E	1	7.14				
	Pi4613 (A)	F	1	50	0.69	0.69	0.99	92.01
		G	1	50				
شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)	Pi4611(N)	A	10	52.63	1.36	1.79	0.75	812.24
		B	3	15.78				
		C	1	5.26				
		E	3	15.78				
		F	1	5.26				
		G	1	5.26				
	Pi4612 (N)	C	3	75	0.56	0.69	0.80	244.06
		D	1	25				
	Pi4613 (N)	B	7	87.50	0.37	0.69	0.53	167.04
		E	1	12.50				
شاخص ناهمواری‌های زمین (TRI)	Pi4611(T)	A	3	30	1.65	1.79	0.92	342.97
		B	2	20				
		C	2	20				
		D	1	10				
		F	1	10				
		G	1	10				
	Pi4612 (T)	A	1	25	1.38	1.38	0.99	376.50
		B	1	25				
		C	1	25				
		E	1	25				
	Pi4613 (T)	A	5	31.25	1.21	1.38	0.87	503.86
		B	7	43.75				
		C	1	6.25				
		E	3	18.75				
شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی، جهت شیب، شاخص ناهمواری (NDVI, Aspect and TRI)	Pi 4611	A	4	80	0.50	0.69	0.72	209.27
		B	1	20				
	Pi 4612	A	2	28.57	1.3	1.38	0.93	190.71
		B	2	28.57				
		C	1	14.28				
		E	2	28.57				
	pi 4613	B	4	80	0.50	0.69	0.72	103.88
		E	1	20				
	pi 4614	B	1	100	–	–	–	27.63
	*pi 4615	E	1	100	–	–	–	47.76
	*pi 4616	A	1	100	–	–	–	160.63
	*pi 4617	C	1	100	–	–	–	140.44
	pi 4618	F	1	50	0.69	0.69	0.99	92.01
		G	1	50				
	pi 4619	A	3	100	0	1	–	111.81
	pi 46110	C	2	66.66	0.63	0.69	0.90	103.61
		D	1	33.34				
	pi 46111	B	2	100	0	1	–	35.52

*فقط یک نوع خاک در این واحدها قرار گرفته است و محاسبه شاخص تنوع برای این واحدها معنایی ندارد.

*Only one soil type is located in these units so calculating the diversity index for these units is not significant.

مقادیر شاخص‌های تنوع و همچنین احتمالات شرطی ارائه شده در جدول ۶ همچنین نشان می‌دهد که تفکیک فازهای زمین‌ریخت بر اساس ویژگی پوشش گیاهی نسبت به دو ویژگی دیگر (جهت شیب و ناهمواری سطح) واحدهای همگن‌تری را ارائه کرده است. به‌طوری‌که مقادیر شاخص تفرق در واحدهای Pi4613 (N) و Pi4612 (N) به ترتیب ۰/۳۷ و ۰/۵۶ می‌باشد. از طرفی در حالتی که هر سه ویژگی پوشش گیاهی، جهت شیب و ناهمواری سطح در تفکیک فازهای زمین‌ریخت مورد استفاده قرار گرفته‌اند، یکنواختی خاک‌ها در واحدهای تفکیک شده بیشتر شده است. اما در چهار واحد فقط یک نوع خاک قرار گرفته است. با توجه به پیچیدگی و وقت‌گیر بودن طبقه‌بندی نقشه‌های ویژگی‌های زمین‌ریخت و استفاده از هر سه آن‌ها جهت تفکیک نقشه‌های فاز و نتایج حاصل از جدول ۶ به‌نظر می‌رسد طبقه‌بندی نقشه‌های حداکثر تراکم پوشش گیاهی، جهت جداسازی فازهای زمین‌ریخت در سایر زمین‌ریخت‌های منطقه مطالعاتی نتایج قابل قبولی را ارائه دهد.

مقایسه‌های آماری انجام شده بین شاخص‌های تفرق شانن محاسبه شده برای هر واحد نقشه در جدول ۷ نشان داده شده است.

در این مقایسه، چنانچه مقدار آماره tی محاسباتی بزرگتر از tی جدول باشد، فرض صفر مبنی بر معنی‌دار نبودن تفاوت تفرق خاک در دو واحد نقشه‌مطالعاتی رد می‌شود. به بیان دیگر در حالت برقراری فرض صفر، میزان تفاوت خاک‌های واقع شده در دو واحد نقشه معنی‌دار نمی‌باشد و بنابراین می‌توان با نادرست قلمداد کردن مرزبندی میان واحدها، آن دو را به‌عنوان یک واحد در نظر گرفت. وجود اختلاف معنی‌دار در شاخص‌های تفرق دو واحد از سه واحد تفکیک شده فاز زمین‌ریخت بر اساس ویژگی پوشش گیاهی نیز موید این موضوع است که این ویژگی به خوبی توانسته است نسبت به دو ویژگی دیگر با مرزبندی میان واحدها، واحدهای همگن‌تری را ارائه کند.

جدول ۸ نتایج حاصل از انجام مقایسه آماری بین واحدهای فاز زمین‌ریخت که هر سه ویژگی در تفکیک آن نقش داشته‌اند را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که چهار واحد نقشه که فقط یک خاک در آن‌ها قرار گرفته است در این جدول ارائه نشده‌اند. مقایسه آماری تفرق شانن در سطح احتمال ۹۰ درصد تفاوت معنی‌داری بین اغلب واحدهای نقشه‌ی تفکیک شده نشان می‌دهد.

جدول ۷- مقایسه آماری واحدهای فاز زمین‌ریخت تفکیک شده با توجه به ویژگی‌های مختلف زمین‌ریخت

Table 7- Comparing of statistical differences between landform phase units separated according to different landform characteristics

ویژگی جداکننده نقشه فاز زمین-ریخت Phase separator feature	واحدهای نقشه Map unit code	شاخص تفرق شانن (Shannon index)	واریانس شاخص تفرق Shannon index variance	درجه آزادی Degrees of freedom	آماره‌ی t t Statistic
جهت شیب (Aspect)	Pi4611 (A)	1.18	0.032	28	0.53
	Pi4612 (A)	1.33	0.046		
	Pi4611 (A)	1.18	0.032	3	1.23
	Pi4613 (A)	0.69	0.125		
	Pi4612 (A)	1.33	0.046	4	1.54*
	Pi4613 (A)	0.69	0.125		
پوشش گیاهی (NDVI)	Pi4611 (N)	1.36	0.045	9	2.24*
	Pi4612 (N)	0.56	0.087		
	Pi4611 (N)	1.36	0.045	20	3.10*
	Pi4613 (N)	0.37	0.059		
	Pi4612 (N)	0.56	0.078	9	0.63
	Pi4613 (N)	0.37	0.059		
ناهمواری (TRI)	Pi4611 (T)	1.65	0.043	8	0.72
	Pi4612 (T)	1.38	0.093		
	Pi4611 (T)	1.65	0.043	20	1.71*
	Pi4613 (T)	1.21	0.021		
	Pi4612 (T)	1.38	0.093	6	0.49
	Pi4613 (T)	1.21	0.021		

* در سطح احتمال ۹۰ درصد معنی‌دار می‌باشد.

(Significance at 90% confidence level)*

جدول ۸- مقایسه آماری واحدهای نقشه فاز زمین‌ریخت با در نظر گرفتن هر سه ویژگی زمین‌ریخت

Table 8- Comparison of statistical differences between landform phase map units considering all 3 landform characteristics

Map unit code کد واحد نقشه	واریانس شاخص تفرق Shannon index variance	pi 4611	pi 4612	pi 4613	pi 4618	pi 4619	pi 46110	pi 46111
pi 4611	0.0815		*	–	–	*	–	*
pi 4612	0.0392	*		*	*	*	*	*
pi 4613	0.0815	–	*		–	*	–	*
pi 4618	0.125	–	*	–		*	–	*
pi 4619	0	*	*	*	*		*	*
pi 46110	0.0914	–	*	–	–	*		*
pi 46111	0	*	*	*	*	*	*	

* در سطح احتمال ۹۰ درصد معنی‌دار می‌باشد.

(Significance at 90% confidence level)*

نتایج حاصل از این مقایسه آماری نشان می‌دهد دو واحد Pi4619 و Pi46111 دارای اختلاف معنی‌دار با تمامی واحدهای تفکیک شده می‌باشند. علت این موضوع اینست که این واحدها کاملا همگن بوده و فقط یک نوع کلاس خاک در آن‌ها واقع شده است، به بیان دیگر دارای شاخص تفرق شانن صفر و در نتیجه واریانس صفر هستند. بر عکس این موضوع در واحد Pi4612 که ناهمگن‌ترین واحد موجود می‌باشد مشاهده می‌شود. این واحد دارای چهار کلاس خاک متفاوت و در نتیجه بیشترین شاخص تفرق نسبت به سایر واحدها (۱/۳) می‌باشد. این واحد بر خلاف دو واحد Pi4619 و Pi46111 به علت غیر یکنواختی زیاد نسبت به سایر واحدهای تفکیک شده، دارای اختلاف معنی‌داری با سایر واحدها می‌باشد. به‌عبارت دیگر میزان تفاوت خاک‌های واقع شده در این واحدهای نقشه معنی‌دار بوده و بنابراین می‌توان با درست قلمداد کردن مرزبندی میان این واحدها، آن‌ها را به‌عنوان واحدهای متمایز در نظر گرفت.

به‌طور کلی این یافته‌ها با دستاوردهای پژوهش‌های دیگر که از نقشه‌های فاز زمین‌ریخت به‌عنوان متغیر کمی در نقشه‌برداری رقومی خاک برای پیش‌بینی کلاس‌های خاک (۱۲ و ۳۵) و نشان دادن تغییرات و توسعه خاک (۲۳) استفاده کردند، همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد استفاده از رویکرد ژئوپدولوژی در سطح زمین‌ریخت در منطقه مورد مطالعه، در سطوح بالای رده‌بندی مفید بوده است، اما با توجه به ذات پیچیده خاک‌ها در سطوح پایین‌تر طبقه‌بندی (فامیل و سری خاک) از کارایی لازم برخوردار نمی‌باشد. لذا به‌منظور افزایش دقت نتایج روش ژئوپدولوژی و ارائه واحدهای نقشه یکنواخت‌تر در سطوح پایین‌تر رده بندی نقشه‌های فاز زمین‌ریخت با توجه به ویژگی‌های محیطی زمین‌ریخت منتخب ارائه گردید. بررسی احتمالات شرطی و شاخص‌های تنوع در راستای تجزیه و تحلیل تنوع مکانی خاک‌ها در واحدهای فاز زمین‌ریخت تهیه شده نشان داد که استفاده از ویژگی پوشش گیاهی نسبت به سایر ویژگی‌های محیطی در تفکیک واحدهای نقشه همگن موثر بوده است. نتایج حاصل از مقایسه‌های آماری بین شاخص‌های تفرق شانن محاسبه شده برای هر واحد نقشه نیز نشان داد با وجود مقادیر متفاوت شاخص‌های تفرق شانن بین واحدهای نقشه تفکیک شده در سطح فاز زمین‌ریخت، تفاوت واحدها از لحاظ آماری تنها در تعدادی از آن‌ها در سطح احتمال ۹۰ درصد معنی‌دار شده است که نشان دهنده افزایش خلوص این واحدها در سطح فامیل خاک می‌باشد. به‌عبارت دیگر عوامل تشکیل دهنده خاک و فرآیندهای خاکزائی در سطح فاز زمین‌ریخت نسبت به سطح زمین‌ریخت یکسان‌تر عمل کرده و همگنی بیشتری در این واحدها دیده می‌شود.

با توجه به نتایج این مطالعه، به‌منظور بررسی بهتر تنوع خاک، مطالعات تکمیلی با فواصل کمتر نمونه‌برداری و روش‌های نمونه‌برداری منظم و شبکه‌ای می‌تواند انجام گیرد. همچنین در مطالعات آتی می‌توان تنوع خاک‌ها را از دیدگاه‌های مختلف مانند تفرق ژنتیکی خاک، تفرق ویژگی‌های خاک و تفرق کارکردی خاک مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. با توجه به ویژگی‌های اثرگذار بر تشکیل و تکامل خاک‌ها در مناطق مطالعاتی سایر ویژگی‌های محیطی برای تهیه نقشه‌های فاز زمین‌ریخت می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

منابع

1- Abbaszadeh Afshar F., Ayoubi S.H., and Jafari A. 2018. The extrapolation of soil great groups using multinomial

logistic regression at regional scale in arid regions of Iran. Geoderma 315: 36-48.
2- Ahmadi Sani N., and Babaie Kafaky S. 2017. Mapping of soil properties in environmental science studies based on geopedological principles using remote sensing and geo-information system (GIS). Journal of Renewable Natural Resources Research 8(1): 55-68. (In Persian with English abstract)
3- Alijani Z., Sarmadian F., and Musavi S. 2013. Comparison of traditional and geopedologic soil surveys: a case study in kuhin, iran. Iranian Natural Resources Journal 67(1): 93-102. (In Persian)
4- Bagheri Bodaghabadi M., and Toomanian N. 2019. Investigation of the relationship between geopedology and soil taxonomy in the soil-landscape models using conditional probabilities. Iranian Journal of Soil and Water Research 50(5): 1152-1168. (In Persian with English abstract)
5- Banai M.H. 1998. Soil thermal-moisture regimes map of Iran on 1:1,250,000 scales. Soil and Water Research Institute, Tehran. Iran.
6- Butler D. 2001. Geomorphic process-disturbance corridors: A variation on a principle of landscape ecology .progress in physical geography: erth and environment 2: 237-248.
7- Caroline Chartin C., Bourennane H., Salvador-Blanes S., Hinschberger F., and Macaire J.J. 2011. Classification and mapping of anthropogenic landforms on cultivated hillslopes using DEMs and soil thickness data - Example from the SW Parisian Basin, France. Geomorphology, Elsevier 135(1-2): 8-20.
8- Esfandiarpoor I., Salehi M.H., Toomanian N., and Mohammadi J. 2009. The effect of location of sample area and expert knowledge on the results of geopedological approach in soil mapping. Journal of Soil and Water Sciences 49: 113-147. (In Persian with English abstract)
9- Esfandiarpoor I., Toomanian N., Salehi M.H., and Mohammadi J. 2009. Assessing geopedological soil mapping using diversity and similarity indices (A case study: Borujen area, Chaharmahal-Va-Bakhtiari province) Journal of Soil and Water 23: 100-114. (In Persian with English abstract)
10- Esfandiarpoor I., Mohammadi J., Salehi M.H., Toomanian N., and Poch R.M. 2010. Assessing geopedological soil mapping results by statistical and geostatistical methods: a case study in the borujen region, central iran". Catena 82: 1-14.
11- Esfandiarpoor I., and Safari Y. 2014. Comparison of functional soil dispersion in two units of detailed soil map (Case study of Faradonbeh plain, Chaharmahal and Bakhtiari province). Journal of Agricultural Science, Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences 18(67): 269-277. (In Persian)
12- Esfandiarpour I., Shahini-Shamsabadi M., Shirani H., Mosleh Z., Bagheri-Bodaghabadi M., and Salehi M.H. 2020. Assessment of Different Digital Soil Mapping Methods for Prediction of Soil Classes in the Shahrekord Plain, Central Iran. Catena 193: 104648.
13- Farajnia A., and Yar Ahmadi J. 2015. Evaluation of the efficiency of geopedology method in preparing soil map and comparing it with physiographic method. Quantitative Geomorphological Research 4(2): 154-166. (In Persian)
14- Farshad A., Udomsri S., Yadav R.D., Shrestha D.P., and Sukchan S. 2005. Understanding geopedologic is clue for improving the management of salt-affected soil in NongSuang district, NakhonRatchasima. Land Development Department, Thailand.
15- Gerçek D. 2017. A conceptual model for delineating land management units (LMUS) using geographical object-based image analysis. International Journal of Geo-information 6(170): 1-18.
16- Gessler P.E., Moore I.D., McKenzie N.J., and Ryan P.J. 1995. Soil-landscape modelling and spatial prediction of soil attributes. International Journal of Geographical Information Science 9: 421-432.
17- Guo Y., Gong P., and Amundson R. 2003. Pedodiversity in the United States of America. Geoderma 117: 99-115.
18- https://earthexplorer.usgs.gov.
19- https://www.accuweather.com/fa/ir/alashtar.
20- Ibanez J.J., De Alba S., Bermudes F.F., and Garcia-Alvarez A. 1995. Pedodiversity: concepts and measurements. Catena 24: 215-232.
21- Jafari A., Ayoubi S.H., Khademi H., Finke P.K., and Toomanian N. 2013. Selection of a taxonomic level for soil mapping using diversity and map purity indices: A case study from an Iranian arid region. Geomorphology 201: 86-97.
22- Keshtkar S., Jafari A., and Farpoor M.H. 2018. The effect of environmental and pedogenic factors on soil diversity in Kerman and Lalehzar regions. Journal of Soil Management and Sustainable Production 8(1): 89-106. (In Persian with English abstract)
23- Maleki S., Khormali F., Bodaghabadi M.B., Mohammadi J., Hoffmeister D., and Kehl M. 2020. Role of geomorphic surface on the above-ground biomass and soil organic carbon in a semi-arid region of Iranian loess plateau, Quaternary International 552: 111-121.
24- McBratney A.B., and Minasny B. 2007. On measuring pedodiversity. Geoderma 141: 149-154.
25- McKenzie N.J., and Ryan P.J. 1999. Spatial prediction of soil properties using environmental correlation. Geoderma 89: 67–94.
26- Momeni A. 2015. Determining the geomorphic levels of sloping lands in the east and west of Alamut region of Qazvin province as basic information for soil studies. research project, Soil and Water Research Institute. (In

Persian)
27- Phillips J.D., and Marion D. 2007. Soil geomorphologic classification, soil taxonomy and effects on soil richness assessments. Geoderma 141: 89-97.
28- Rasheed M.A., Wahab M.A., and Youssef R.A. 2010. Digital geopedological mapping of some study areas in western desert, Egypt. Journal of American Science 6(9): 23-29.
29- Rashidi Koochi1 Z., Esfandiarpoor Borujeni I., Abbaspour A., Kamali A., and Naderi N.N. 2012. Effect of Scale and type of classification system on the results of soil mapping using geopedologic approach (a case study: damavand region, tehran province). Journal of Water and Soil 26(5): 1247-1256. (In Persian with English abstract)
30- Riley S.J., DeGloria S.D., and Elliot R. 1999. Index that quantizes topographic heterogeneity. Intermountain Journal of Sciences 5: 23–2.
31- Rossiter D.G. 2000. Methodology for soil resource inventories (2nd ed.). Soil Science Division, International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC), Enschede, The Netherlands.
32- Rossiter D.G., and Hengl T. 2001. Technical note: creating geometrically-correct photo-interpretation, photomosaics, and base maps for a project GIS. http://www.itc.nl/~rossiter.
33- Schoeneberger P.J., Wysocki D.A., Benham E.C., and Broderson W.D. (Eds.). 2002. Field Book for Describing and Sampling Soils (2nd ed.). Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 228 pp.
34- Sepahvand M. 2017. Modeling soil –landscape relationships for predicting the soil properties in small watersheds of middle Zagros (Case study: Rimeleh watershed, Lorestan province, Iran). Ph.D. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources.
35- Shahini-Shamsabadi M., Esfandiarpour-Boroujeni I., Shirani H., and Salehi M.H. 2019. Application of soil properties, auxiliary parameters, and their combination for prediction of soil classes using decision tree model. Desert 24(1): 153-169.
36- Soil and water research institute. 2008. Guidelines for Soil Survey. No: 466.
37- Soil Survey Staff. 2014. Keys to Soil Taxonomy (12th ed.). NRCS, USDA.
38- Taylor L.R. 1978. A variety of diversities. In: Mound I.A. et al. (eds.) Diversity of Insect Faunas. Ninth Symposium of the Royal Entomological Society. Blackwell.Oxford. pp. 1-18.
39- Udomsri S. 2006. Application of computer assisted geopedology to predictive soil mapping and its use in assessing soil erosion prone areas: a case study of Doi Ang Khang, Ang Khang Royal Agricultural Station, Thailand. MSc. Thesis, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation (ITC), Enschede, The Netherlands.
40- Wilson J.P., and Gallant J.C. 2000. Secondary topographic attributes. Terrain Analysis-Principles and Applications. Wiley, NewYork, 87–132.
41- Zinck J.A. 1989. Physiography and soils. Lecture-notes for soil students. Soil Science Division. Soil survey courses subject matter: K6 ITC, Enschede, The Netherlands.
42- Zinck J.A. 2016. Geopedology. An integration of geomorphology and pedology for soil and landscape studies. 1. Twenty: Springer International Publishing.

Journal of Water and Soil
Vol. 35, No. 6, Feb.-Mar. 2022, p. 873-890

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۵، شماره ۶، بهمن – اسفند ۱۴۰۰، ص. ۸۹۰-۸۷۳

Increasing the Homogeneity of Soil Map Units Using the Level of Landform Phase in the Geopedologic Approach

F. Ebrahimi Meymand[1]**- H. Ramezanpour**[2*]**- N. Yaghmaeian**[3]**- K. Eftekhari** [4]

Received: 16-10-2021
Accepted: 04-12-2021

Introduction: Delineating landscape into homogenous units is fundamental to managing resources and delivering sustainable development. The importance of this has long been recognized as a critical issue in various studies and it has been examined from different aspects. In soil mapping, the geopedologic approach is used for landscape classification, which was defined by Zinck (1989). This approach differentiates landscapes into landforms to increase the purity of soil map units. Therefore, the aim of this study was preparing geopedologic maps of the study area on the level of landform phases intending to make more homogeneous soil units.

Materials and Methods: Honam sub-basin in Lorestan province is one of the most important agricultural areas in the Karkheh River watershed. Soil moisture and temperature regimes of the area were Xeric and Mesic, respectively. After a primary interpretation, a geopedology map of the study area at the landform level was prepared according to the geopedologic approach. After soil surveying, 31 profiles were excavated, described, and sampled in the largest delineation of this map. Ultimately, this landform unit was differentiated to the landform phase units using morphometric features and normalized difference vegetation index. Pedodiversity index was computed for each landform phase unit to investigate the credibility of the geopedological approach for this unit. The conditional probability of each soil family was also measured in each landform phase unit to compare statistical differences between landform phase units. Furthermore, statistical comparisons were made between the Shannon indices of each unit.

Results and Discussion: The soils of the study area were classified into seven soil families according to Soil Survey Staff (2014). Based on the geopedology map, this area includes two landscapes of Piedmont plains and valleys. These two landscapes were differentiated to 6 and 3 relief/molding, respectively. Geologically, the study area has 5 lithologic units. Finally, 22 landform units were identified in this area. The area of the widest landform with the code of Pi461 was 1223.35 ha. With individual use of NDVI, TRI, and aspect map, this landform unit was differentiated into 3 phases, and with the use of these 3 maps collectively, 11 phases were differentiated. The results showed landform map unit of Pi641 with 31 soil profiles and 7 soil families has the highest value of diversity indices, such as 1.59 for the Shannon index. In addition, this map unit is a compound map unit consisting of several soils, where the highest probability of observing soils is related to soils A and B with 32.5% probability. By differentiating this landform unit into phases, the Pi461 map unit is separated into smaller units that are more homogeneous. For example, when it is separated according to the vegetation characteristics, the three phases Pi4611 (N), Pi4612 (N), and Pi4613 (N) were differentiated that have medium, low, and high vegetation, respectively. In this case, Pi4612 (N) map unit with 75% probability of soil C observation and Pi4613 (N) map unit with 87.50% probability of soil B observation are two homogeneous map units. The Shannon index of these two units is 0.56 and 0.37, respectively, which indicates the purity of these map units. The results also showed that diversity indices and conditional probabilities, respectively, were decreased and increased in most of the landform phase map unit compared to the landform map unit. The use of normalized difference vegetation index compared to other environmental features has been effective in separating the landform phase units and preparation of homogeneous map units. So, the most probability of observing the dominant soils of the study area increased from 32.25% in the landform unit to 52.63, 75.75, and 87.50% in the landform phase unit, and the Shannon index decreased from 1.59 in the landform unit to 1.36, 0.56, and 0.37 in the landform phase units. The use of other environmental features to increase the purity of the landform phase map unit is suggested in future studies.

Conclusion: Results of using geopedological approach at landform level in the study area showed that this

---

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Associated Professor and Assistant Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: hasramezanpour@yahoo.com)
4- Research Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Agriculture Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
DOI: 10.22067/JSW.2021.72597.1094

level is useful at highest levels of soil classification (from order to great group), but due to the complex nature of soils at lower levels of classification (family and soil series) does not have enough efficiency. Therefore, for improving the geopedology method accuracy and to present more uniform map units at lower levels of classification, landform phase maps were presented according to the environmental characteristics of the selected landform. The statistical comparisons between Shannon indices calculated for each map unit in the landform phase map showed a significant difference at the 90% probability level between most of the units, which indicates an increase in the purity of these units at the soil family level.

Keywords: Conditional probability, Geomorphology map, Pedodiversity indices, Terrain Ruggedness Index